

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H04L 29/06

H04L 12/28



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02153303.2

[43] 公开日 2003 年 5 月 14 日

[11] 公开号 CN 1417992A

[22] 申请日 2002.11.27 [21] 申请号 02153303.2

[71] 申请人 北京邮电大学

地址 100876 北京市海淀区西土城路 10 号北

京邮电大学 93 信箱

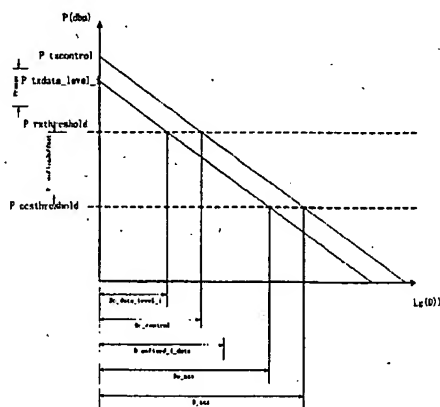
[72] 发明人 康睿捷 王文博

权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 5 页

[54] 发明名称 基于 IEEE802.11 支持 Ad-hoc 网络的改进媒体接入控制协议

[57] 摘要

本发明公开了一种支持 Ad-hoc 网络结构的面向高速数据业务的单信道无线媒体接入控制协议。本协议是通过对 IEEE802.11 标准进行合理改进完成的, 采用了冲突避免(CA)为主、载波侦听(CCS)为辅的策略, 能更有效支持 Ad-hoc 网络结构。这种改进是通过引入功率等级和功率调整的机制(见摘要附图)和不同于 IEEE802.11 标准的信道预约策略完成的。该协议达到了下列目标, 解决了 IEEE802.11 标准直接支持 Ad-hoc 网络结构时吞吐量不稳定, 公平性太差的问题, 同时在节约能量, 频率复用方面获得了改进。在设计中本协议做到了与现有 IEEE802.11 标准实现方式上最大程度上的统一, 有利于在较短的时间内开发出按照本协议工作的设备。



ISSN 1008-4274

1. 一种基于 IEEE802.11 标准能更有效高效支持 Ad-hoc 网络的改进的单信道无线媒体接入控制协议, 适用于任何以 TDD 模式工作并定义了广播信道的空中接口标准, 使该空中接口标准有效高效的支持 Ad-hoc 形式组网, 其特征是: 通过权利要求 2、3、4、5 所描述的机制和配置改进 IEEE802.11 标准, 使其以冲突避免 (CA) 为主、载波侦听 (CCS) 为辅的方式工作。
2. 根据权利要求 1 所述的改进的单信道无线媒体接入控制协议具有功率等级的机制, 其特征是: 广播的 RTS、CTS 采用较高的功率等级 ($P_{txcontrol}$) 发射, 而点对点的 DATA、ACK 采用较低的功率等级 ($P_{txdata_level_i}$) 发射。
3. 根据权利要求 1 所述的改进的单信道无线媒体接入控制协议具有功率调整的机制, 其特征是: 在点对点的通信链路上进行开环功率调整, 说明书中提供了符合该特征的一个参考功率调整算法。
4. 根据权利要求 1 所述的改进的单信道无线媒体接入控制协议采用面向接收节点的信道预约策略, 其特征是: 第一, 在该协议中所有媒体接入层的服务数据单元都要进行虚拟载波监听, 即进行 RTS、CTS 握手。第二, 面向接收节点的含义是: 源和目标节点以外的第三方节点会收到来自源和目的节点发送的 RTS 和 CTS, 收到 RTS 的第三方节点不进行信道预约, 收到 CTS 的第三方节点进行信道预约。
5. 根据权利要求 1 所述的改进的单信道无线媒体接入控制协议依据新的原则对物理层载波监听配置, 其特征是: 利用引入功率等级后 RTS、CTS 干扰距离大于 DATA、ACK 干扰距离的特点, 按照 RTS 和 CTS 干扰距离配置物理层载波监听距离 (D_{ccs}), 从而缩小有效监听距离 (D_{e_ccs})。

基于 IEEE802.11 支持 Ad-hoc 网络的改进媒体接入控制协议

技术领域

媒体接入控制 (MAC) 协议定义了按照一定策略接入共享媒体的准则。在无线通信领域, 媒体接入控制协议对于有效公平的应用宝贵的频谱资源有非常重要的意义。任何无线媒体接入控制协议都是针对具体的网络结构和应用的。在蜂窝网络结构以及某些特定的分布式网络(如 WLAN) 已有很多成熟的媒体接入控制算法。直接利用这些接入控制协议支持 Ad-hoc 网络结构则存在很多问题。本发明公开了一种适合 Ad-hoc 网络结构面向高速数据业务的单信道无线媒体接入控制协议, 并将从技术的角度和实现的角度说明它的优点。

背景技术

INERTNET 的发展和具备无线通信功能的便携式设备的普及的产生了日益增加的对高速数据的无线接入需求。数字通信通信的理论表明, 数据速率越高所需要的功率就越大。根据无线信号空间传播时衰减呈指数型的特点, 采用中继技术将一段较长的通信链路分割成若干较短的通信链路, 将降低单位比特所需要的功率。Ad-hoc 网络是一种采用了中继技术的是面向未来高速数据业务的网络结构, 它提供了一种分布式的不需要任何基础设施的接入方式, 如图 1 所示。需要指出的是, 支持 Ad-hoc 网络结构的通信节点必须包含两个不同的方面的功能。第一是在源节点和目标节点之间自适应的建立一条可能包含中继节点的通信链路, 即路由功能; 第二是在媒体接入控制层中支持中继功能并提供有效公平无线接入。

为 Ad-hoc 网络设计无线接入控制协议的基本约束条件来自于对路由层的支持, 该无线接入控制协议必须支持任意两点的直接通信且具备广播功能。同时, Ad-hoc 网络的设计理念也要求媒体接入协议能像路由协议一样, 尽可能以分布

式的方式工作。

发明内容

一、改进目标和框架

本协议是基于IEEE802.11标准中核心的分布式媒体接入控制（DFWMAC）的，其核心机制为CSMA/CA，见图2。DFWMAC接入控制协议的基本要素包括：

1. 基于载波侦听（CCS）的分布式无线媒体共享；
2. 基于ACK机制为点对点的DATA传输提供MAC层的恢复机制；
3. 选择性应用RTS,CTS提供的虚拟载波监听机制；
4. 基于二进指数后退算法的媒体竞争接入机制；
5. 支持该接入方式所需要的帧格式集合。

从国内外的研究来看，大部分对Ad-hoc网络的研究都将IEEE802.11标准[1]作为媒体接入控制层的协议。一方面是因为IEEE802.11标准首先满足了以上最基本的约束条件，另一方面该标准已成为事实上的工业标准。然而，研究表明IEEE802.11标准在通信链路为多跳的场景下存在吞吐量不稳定，公平性太差的问题[2][3]，本发明正是在改进IEEE802.11标准解决以上问题的过程中形成的。

二、改进内容

改进1

描述：在IEEE802.11标准中，所有媒体接入控制层的协议数据单元在物理层将采用一致的功率进行发射。在本协议中，引入功率等级的机制：广播的RTS和CTS采用较高的功率等级 P_{control} 发射，点对点的DATA和ACK采用较低的功率，在功率范围 P_{range} 内动态选择一种功率等级发射。改进前后比较见图3、图4。

说明：通过增加RTS、CTS的发送功率，可以加强虚拟载波侦听的有效性，克服隐藏节点问题。此外，也有助于解决在Ad-hoc网络中直接应用IEEE802.11标准存在的公平性太差问题。

分析显示很多不公平性来源于存在更多数据包的某一个进程跟另一个进程

的控制帧发生冲突,使得后者分配不到信道引起的[2][3]。考虑下面的场景:

B

A

C

D

- (1) 节点A和C的距离小于数据干扰距离;
- (2) 节点A和B到C的距离均大于控制帧的通信距离;
- (3) 节点A和B、C和D之间的距离小于数据通信距离。

因此A和B通信的过程中可以对C造成干扰,而C的信道没有被预约。现在分析如果A的业务量远大于D的业务量会发生什么情况。

如果控制帧和数据帧采用同样的功率,当D试图接入C时,A会长时间占据信道而造成A和D之间的不公平性,因为来自D的控制帧会被A的数据帧所干扰。而如果控制帧采用了比数据帧高的功率,当D的请求到达C时,会由于捕获效应而接入。从而消除了不公平性。

改进2

描述: 在IEEE802.11标准中,物理层的侦听(CCS)可以工作在三种模式下。能量侦听方式为其中的一种。本协议的物理层载波侦听为能量侦听方式。按照RTS和CTS干扰距离配置物理层载波监听距离通过配置侦听电平门限可以容易的实现。CCS距离改进前后的比较和此时的有效侦听距离示意图3和图4。

说明: 在本协议中物理层的载波监听方案主要是向控制帧RTS和CTS提供CSMA的功能。参考改进1可知,本协议由于采用了功率等级,RTS、CTS干扰距离大于DATA、ACK干扰距离。在图4中的 $D_{CCS} - D_{eCCS}$ 区域,数据帧是监听不到的,从而大大减少了暴露节点的数目。因为RTS和CTS的帧长度都是20字节,数据帧的长度最大长度可以达到2348字节。此时有效的监听距离小于但是近似等于 D_{eCCS} ,通过这种改进,改变了IEEE802.11标准原有的配置形式,将部分的解决在Ad-hoc网络中十分有害的暴露节点问题。

改进3

描述: 在IEEE802.11标准中,可以通过设置RTSCTS的门限动态的选择使

用虚拟载波监听。在本协议中，门限永远设为0。即所有媒体接入层的服务数据单元都通过RTS - CTS握手进行信道预约。

说明： IEEE802.11标准通过选择使用RTS - CTS握手机制可以克服隐藏节点问题，提供大数据包更高的传输效率，但在实际配置时往往通过更大的物理层侦听距离来克服隐藏节点问题，即IEEE802.11标准是以载波监听为主，冲突避免为辅的。在Ad-hoc的网络中，隐藏节点的表现形式会多于WLAN，在通过改进2的对IEEE802.11标准修改后，有效载波监听距离减小了，冲突的可能性进一步增加了。因此本协议中，RTS - CTS将是主要的冲突避免机制。改进1中将功率等级的机制进一步强化了这种机制。同样因为在高速数据接入中RTS、CTS要远小于DATA，所以不会对吞吐量造成明显影响。

改进4

描述： 在IEEE802.11标准中，信道预约的机制是任何正确接收了RTSCTS的节点都要修改本地的NAV。在本协议中，信道预约机制采用面向接收节点的策略：源节点和目的节点以外的节点可能接收到来自源和目的的RTSCTS,收到RTS时该节点将不进行信道预约，收到CTS的节点将按照现有算法进行信道预约。原有的信道预约修改算法和修改后的预约算法比较见图5、图7。

说明： 经过改进1中所做的修改，虚拟载波侦听的距离增加了。这可能抵消由改进2克服暴露节点所做得改进。除了进行精心的链路预算配置RTS、CTS发送功率，采用面向接收节点的信道预约策略也有利于克服虚拟载波侦听距离增加带来的虚拟暴露节点问题。考虑如下场景：

A B C D

(1) 节点A和B、B和C、C和D之间的距离均小于数据帧通信距离；

(2) 节点A和C、B和D的距离大于控制帧通信距离也大于数据干扰区域。

从利用无线资源利用的角度，B向A发送数据、C向D发送数据可以同时进行。按照IEEE802.11标准的预约策略B发到A的RTS会被C听到，从而阻止了C和D的通信。此时C为暴露节点。如果采用面向接收节点A的预约策略，如果C听不到从A返回B的CTS,那么C的信道就不被预约，因为C在其后发出的数据并不影响A

的接收。

注意，面向接收节点的预约策略并不适用与分段的协议数据单元传送过程中的信道预约策略。否则会降低大服务数据单元传输的效率。见图6。

改进5

描述：在IEEE802.11标准中，提供了多种功率电平可供配置，但是没有提供在通信进程中的功率调整。在本协议中，将利用链路层确认和重传机制所反映的链路状态进行开环功率调整。这个功率调整方案不需要增加任何功率测量的电路，不需要增加定义任何功率调整帧。下面给出的参考算法的测量目标为竞争窗口的大小CW_VALUE,测量窗口为CW_WINDOW,功率调整门限为CW_THRESHOLD、V1和V2，功率调整可以选择切换到任何一个802.11所提供属于 P_{RANGE} 的功率电平LEVEL_1，见图4。

具体算法可以描述如下：

```
WHILE (THERE_IS_AN_ACTIVE_SESSION && (MEASUREMENT_TIMER == 0))
    GET CW_VALUE
    IF (CW_QUEUE_SIZE == MEASUREMENT_WINDOW)
        PUT CURRENT_CW_VALUE INTO CW_QUEUE
    ENDIF
    CALCULATE NUMBER OF CW VALUES IN THE CW_QUEUE THAT IS LARGER
    THAN CW_VALUE_THRESHOLD
    SWITCH NUMBER
        CASE V1:    SWITCH THE TX POWER TO THE TRANSMIT LEVEL_1
        CASE V2:    SWITCH THE TX POWER TO THE TRANSMIT LEVEL_2
        ....
    ENDSWITCH
END WHILE
```

说明：IEEE802.11标准应用在WLAN环境中正常工作，只有所有节点必须

处在一个工作范围之内,这个参数通常为100-200m。节点的移动性使Ad-hoc网络中同时存在各种长度的通信链路,而它们并不工作在一个特定的范围之内。通过功率调整可以在较短的通信链路使用较低的发射功率。

注意改进1中引入的功率等级的机制对于功率调整是必要的。即RTS、CTS采用较高固定的功率防止了在Ad-hoc网络中进行功率调整可能会引入的非对称链路问题,造成长短链路之间的不公平性。这种功率调整可以:

(1)节省了节点的能量消耗。移动节点的能量通常都是有限的,而且,在Ad-hoc网络中所有节点都可能其他的节点转发数据,节约能量消耗显得更有意义。

(2)减少了隐藏节点数目,增加了频率复用。WLAN在工作范围之内可以看作是噪声受限的系统,隐藏节点的模型是冲突/不冲突这样的开关模型。有单信道媒体接入控制所支持的Ad-hoc网络可以看作是一个噪声受限的系统。隐藏节点的模型是一个由SIR决定的复杂的干扰模型。DATA的功率越小,对整个系统干扰的就越小。

三、优点分析

为了更好的支持Ad-hoc网络,本协议对IEEE802.11标准做了如上的改进。这些改进来自对Ad-hoc网络特征的分析和相关研究对IEEE802.11标准[1]支持Ad-hoc网络时存在的问题的研究结果[2][3]。本协议在技术方面的优点在改进内容中的说明部分有详细的描述。从实施方法看该协议也有明显的优势。因为它做到了同现有WLAN中使用的802.11标准实现方式上最大可能的一致性:改进1和改进5相当于在IEEE 802.11标准中的管理信息集合(MIB)中增加了描述功率等级的 $P_{txcontrol}$ 、 P_{range} 和依赖于具体功率调整算法的调整参数;改进2和改进3都是通过对IEEE 802.11标准管理信息集合(MIB)的重新配置完成的;改进4对MAC控制的功能做了非常小的修改。通过对IEEE802.11标准现有的MAC控制芯片和驱动程序做相应修改,很容易开发出按照本发明媒体接入协议工作的设备,包括使之在Ad-hoc和WLAN两种工作模式下切换。设计时我们没有将本协议与具

体空中接口的物理层技术如IEEE 802.11b、IEEE 802.11a等相联系，主要是基于灵活性的考虑。也是由于这个原因，本协议中与物理层相关的部分如功率的机制都只是具备相对的意义。部署这样的网络，需要更详细的链路预算。这并不影响本协议的实用性，因为使用IEEE 802.11直接支持Ad-hoc网络组网，同样需要不同的链路预算。本说明书中的图3、图4为做这样的预算提供了很好的工具。

四、参考文献

- [1] IEEE Std.802.11, "Wireless LAN Media Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY)Specification" 1999.
- [2] "Does the IEEE 802.11 MAC protocol work well in multi-hop wireless Ad-Hoc network?" *IEEE communication magazine* vol.39 no.6 pp.130-137
- [3] "Revealing the problem with 802.11 medium access control protocol in multi-hop wireless Ad-hoc networks" *computer networks* vol.38 pp.531-538

附图说明

图1: Ad-hoc网络结构的基本示意图。该图反映了Ad-hoc网络的基本特点：它是由没有任何预先部署的基础设施的一组节点构成的，由若干个较短的无线链路在任意两个节点之间自适应的建立通信链路。主要以分布式的方式工作。

图2: IEEE802.11标准所采用的分布式接入控制协议的基本示意图。

图3: IEEE802.11标准媒体接入控制参考距离示意图。本图反映了IEEE802.11标准与功率相关的重要的参考点。

横轴代表参考距离，纵轴代表功率，该链路的传播模型模拟自由空间的传播环境。参考距离是为表达达侦听距离、通信距离、干扰距离等提供参考，并不代表实际环境中的距离，因此使用自由空间模型不会影响我们的分析。

由IEEE802.11标准支持的WLAN网络中，我们可以通过的任何两个节点间的功率关系在本图中找到影响媒体接入控制算法执行的参考距离，从而分析媒体接入控制的算法可能的执行情况。

功率轴和参考距离轴上几个关键的参考点的含义为：

D_c : 代表通信距离；

D_i : 代表干扰距离；

D_{ccs} : 代表物理层侦听距离;

P_x : 代表发送功率;

$P_{rxthreshold}$: 代表接收机灵敏度;

$P_{ccsthreshold}$: 代表物理层侦听灵敏度;

P_{offset} : 代表干扰电平, 两个同时被接收包的功率差小于该值将会造成冲突。

图4: 本协议媒体接入控制参考距离示意图。本图反映了本协议中与功率相关的重要的参考点。由本协议支持的Ad-hoc网络中, 我们可以通过的任何两个节点间的功率关系在本图中找到影响媒体接入控制算法执行的参考距离, 从而分析媒体接入控制的算法可能的执行情况。

功率轴和参考距离轴上几个增加的关键的参考点的含义为:

$P_{txcontrol}$: 代表发送RTS、CTS的功率;

P_{range} : 代表发送DATA、ACK的功率动态区间, $P_{txdata_level_i} \in P_{range}$;

$P_{unfixedoffset}$: 代表在Ad-hoc网络中, 隐藏节点不再是简单的开关模型;

$D_{c_data_level_i}$: 代表DATA、ACK的通信距离;

$D_{c_control}$: 代表RTS、CTS的通信距离。

D_{e_ccs} : 代表有效物理层载波监听距离。

$D_{unfixed_i_data}$: 代表DATA、ACK的干扰距离, $P_{unfixedoffset}$ 决定了 $D_{unfixed_i_data}$ 。

图5: IEEE802.11标准所采用的信道预约算法的示意图。该图考虑的是服务数据单元没有分段的情形。

图6: IEEE802.11标准所采用的信道预约算法的示意图。该图考虑的是服务数据单元被分段传输的情形

图7: 本协议中采用的面向接收节点的预约算法的示意图。与图5比较, 可以看到预约算法的改变。

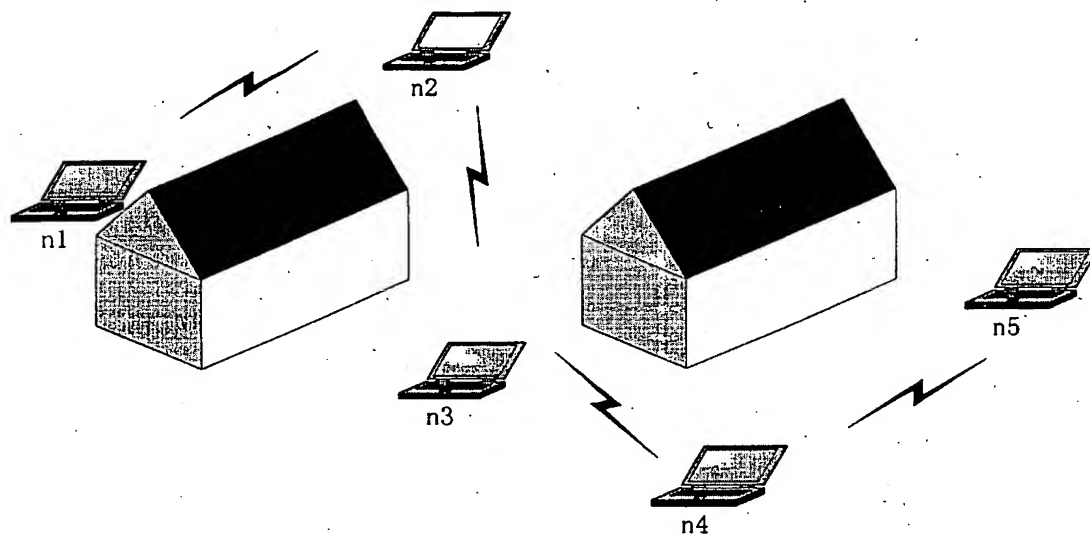


图 1

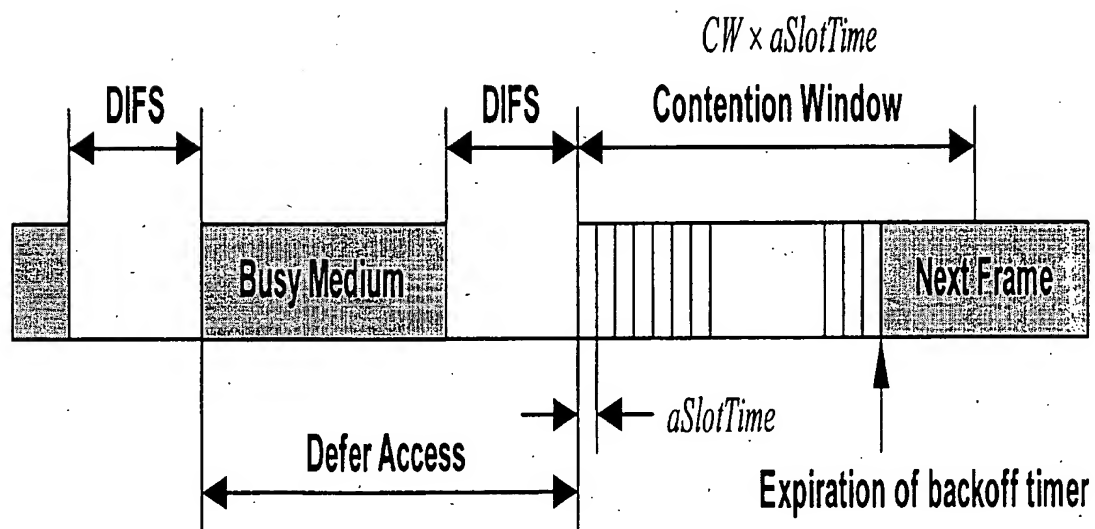


图 2

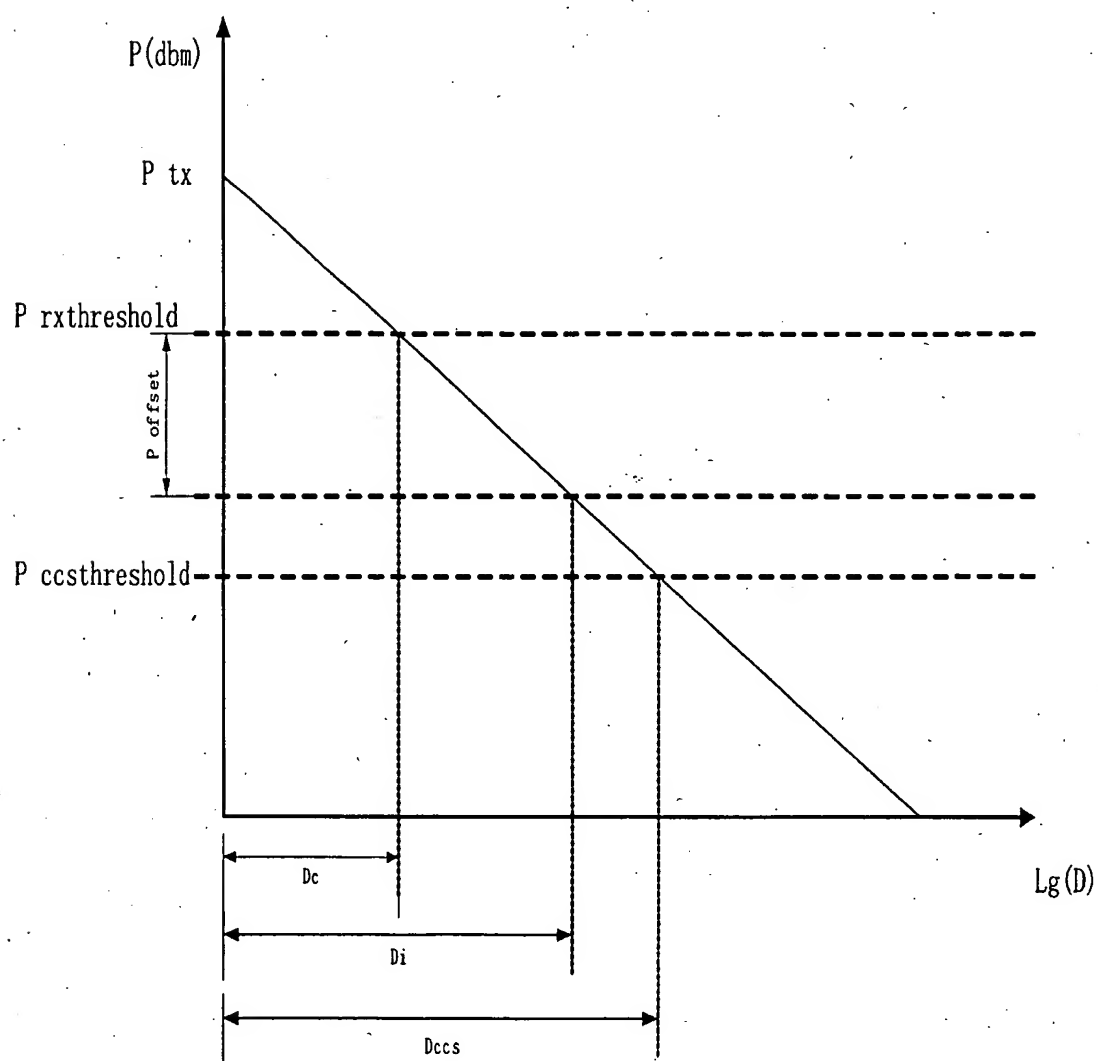


图 3

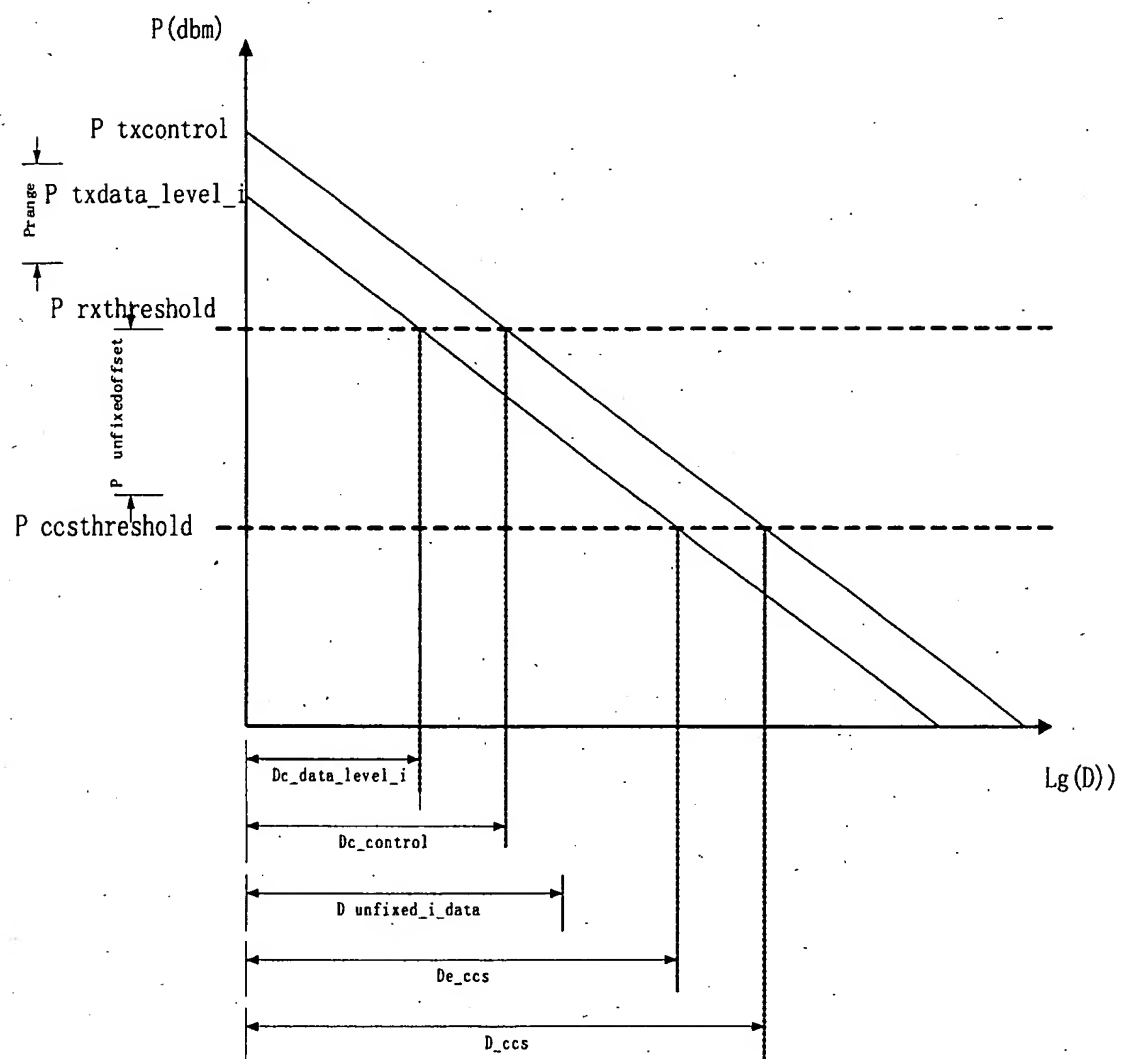


图 4

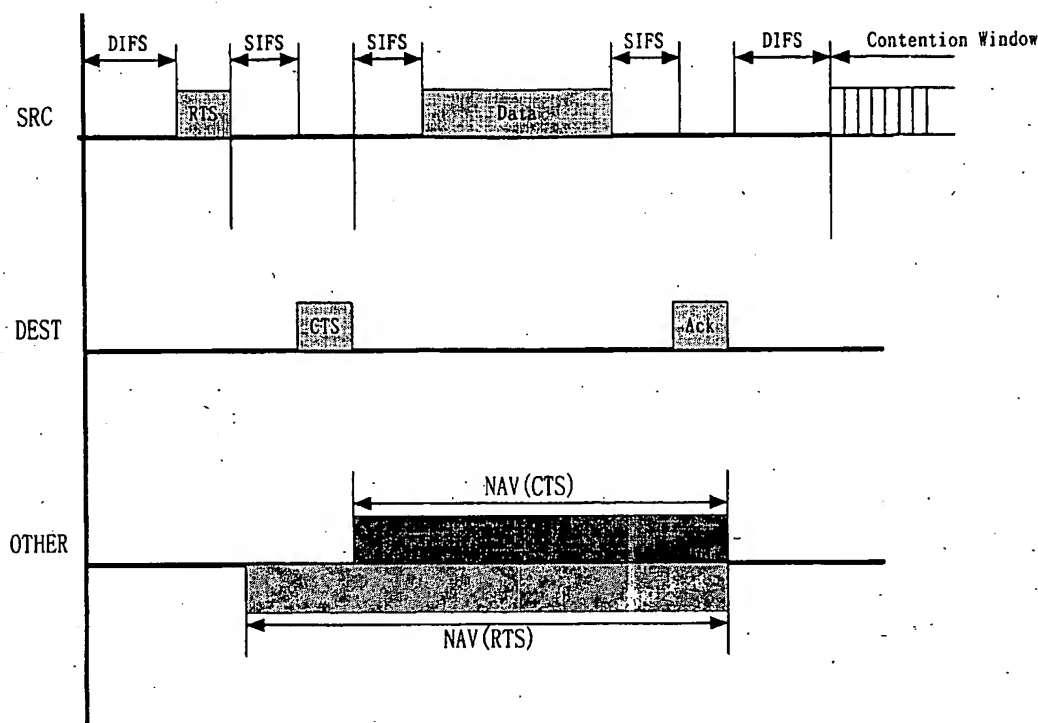


图 5

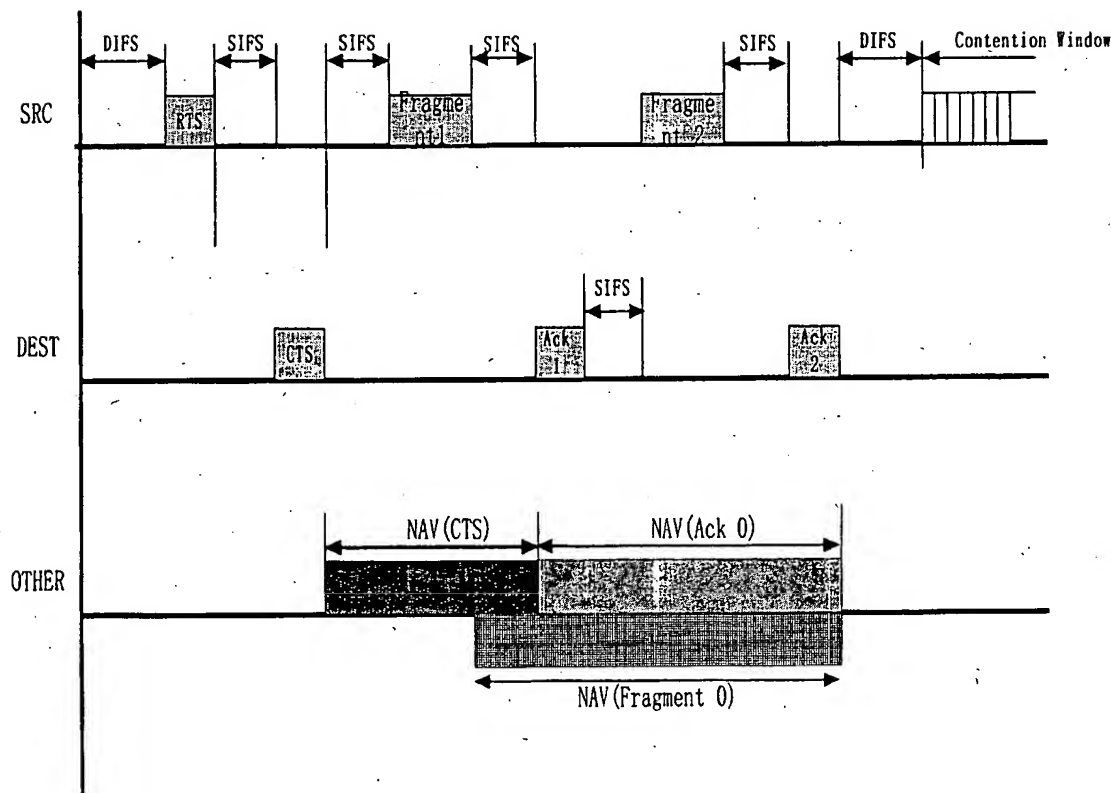


图 6

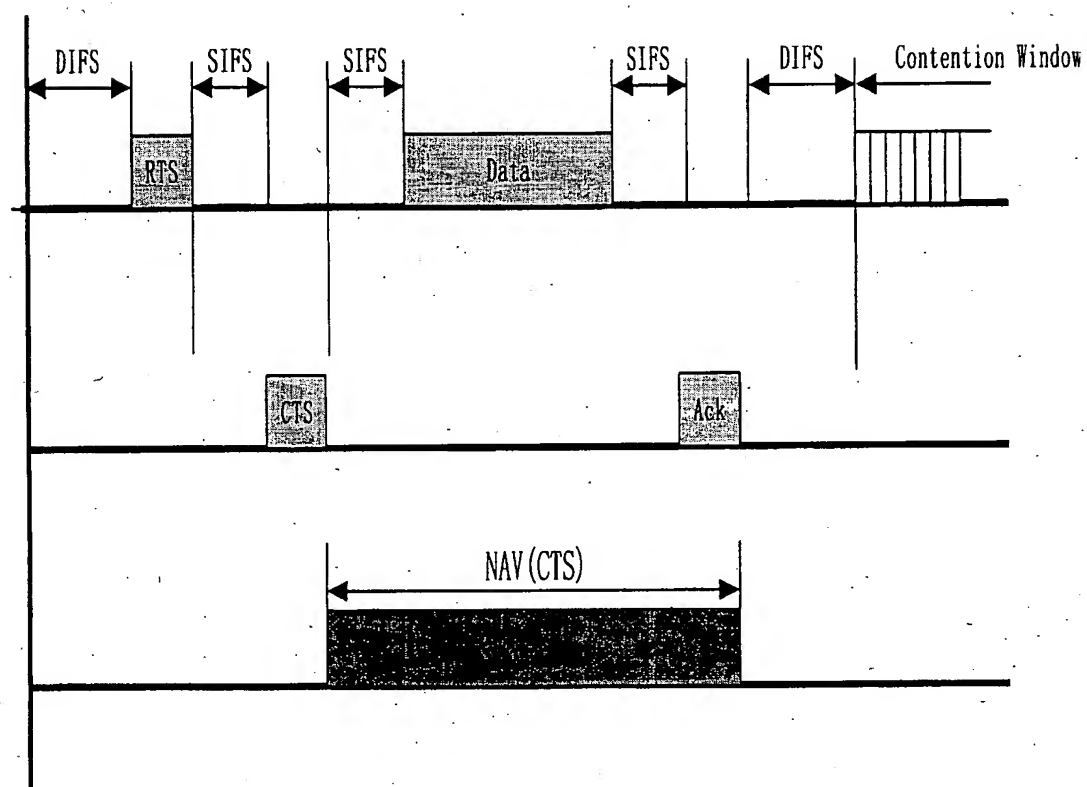


图 7